

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**TRAZADO Y DISEÑO DE TUBERÍAS DE POLIPROPILENO COMO
REEMPLAZO DE LAS TUBERÍAS DE PVC**

**Trabajo de investigación para la obtención del grado académico de BACHILLER
EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL**

AUTORES

Karla Andrea Infante Salas

Carlos Rodolfo Torres Begazo

Alejandro Martín Alberto Rojas Portilla

Luis Diego Vicuña Ríos

Gabriel Alejandro Rivera Chanca

ASESOR

Gregory Javier Miyelo Naveda Alva

Lima, agosto del 2020

RESUMEN

Como parte del desarrollo del área de instalaciones sanitarias para un proyecto de edificación, se realiza en el presente trabajo de investigación el diseño de una red de agua fría utilizando tuberías de polipropileno (PPR). Esto siendo un estudio adicional al desarrollo del expediente técnico del proyecto “Pabellón de Salas de Cómputo del Colegio”. Este material resulta poco común en nuestro entorno ya que de manera cotidiana se emplean tuberías de PVC. Sin embargo, demostraremos tanto de manera cualitativa como cuantitativa, que el uso del primer material mencionado puede ser beneficioso para futuros proyectos a diseñarse en nuestro país. De manera cualitativa podremos comparar aspectos técnicos, económicos y de proceso constructivo; así como de manera cuantitativa podremos determinar las pérdidas de acuerdo a los cálculos sustentados a continuación. Tomando como referencia a la norma IS.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones, se logra el diseño de los diámetros de la red, partiendo de la ecuación de Hazen Williams. Además, a través de una revisión de literatura, conseguimos completar la comparación propuesta. Como conclusión queda establecida la facilidad y recomendación para la aplicación de este material, mediante los criterios evaluados. Finalmente, mediante este documento se fomenta la aplicación de este tipo de tuberías para edificaciones.

TABLA DE CONTENIDOS

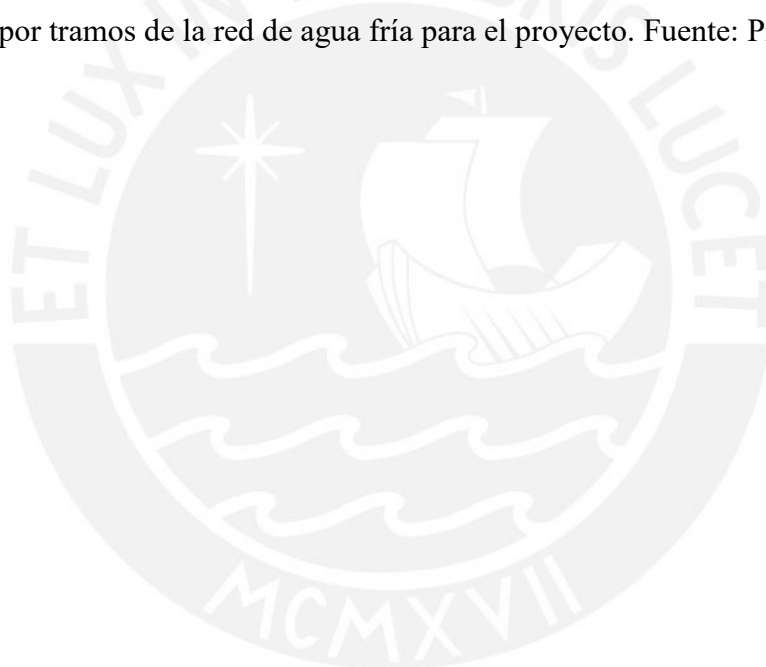
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ii
ÍNDICE DE TABLAS	iii
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación.....	1
1.3. Alcance	3
1.4. Objetivos.....	3
1.5. Metodología.....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. Tubería de Policloruro de Vinilo (PVC).....	5
2.1.1. Información sobre el Policloruro de Vinilo (PVC)	5
2.1.2. Situación actual de las tuberías de Policloruro de Vinilo en el sector construcción	9
2.2. Tubería de Polipropileno (PPR).....	11
2.2.1. Información sobre el PPR	11
2.2.2. Situación actual de las tuberías de Polipropileno en el sector construcción.....	13
3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
3.1. Trazado de tuberías PPR en el Pabellón de Salas de Cómputo del Colegio	15
3.2. Diseño de tuberías PPR en el Pabellón de Salas de Cómputo del Colegio	17
3.3. Discusión.....	26
3.3.1. Comparación de características técnicas	26
3.3.2. Comparación de características económicas	27
3.3.3. Comparación en el proceso constructivo	28
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	29
4.1. Conclusiones.....	29
4.2. Recomendaciones	30
5. BIBLIOGRAFÍA	31
6. ANEXOS	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Industrias que participan en la elaboración del Policloruro de Vinilo (PVC Forum South East Europe, 2010).....	6
Figura 2: Estructura molecular y composición química de diferentes plásticos (PVC Forum South East Europe, 2010)	7
Figura 3: Temperaturas de ignición del PVC (PVC Forum South East Europe, 2010).....	7
Figura 4: Medición de la durabilidad en tuberías subterráneas de PVC registradas en Japón (Makino,1998).....	8
Figura 5: Eficiencia en las propiedades físicas del PVC, al mezclarse con aditivos. (Makino,1998).....	9
Figura 6: Fallas más comunes en tuberías de PVC. Fuente: Diez & Muñoz, 2019.	10
Figura 7: Forma molecular del Propileno. Fuente: Acuña y Villanueva, 2019	11
Figura 8: Estructura y propiedades de las tuberías PPR. Fuente: Shuan, 2018.....	12
Figura 9: Líneas de comercialización para uso en construcción. Fuente: Polifusión	14
Figura 10: Vistas en planta del pabellón y baños típicos por piso. Fuente: Ramírez, 2020.....	15
Figura 11: Elementos estructurales verticales en la zona de baños. Fuente: Propia	16
Figura 12: Red de agua fría en el primer piso. Fuente: Propia.....	17
Figura 13: Red de agua fría en el segundo piso y aparato desfavorable. Fuente: Propia.....	17
Figura 14: Gastos probables para aplicación del método de Hunter. Fuente: IS.010	18
Figura 15: Coeficientes de proporción. Fuente: Polifusión S.A.	21
Figura 16: Datos técnicos de las electrobombas Hidrostral. Fuente: Hidrostral.....	24
Figura 17: Curva de operación en condiciones normales (Agua Limpia). Fuente: Hidrostral..	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Unidades de gasto para aparatos de uso público. Fuente: IS.010	18
Tabla 2: Diámetros para los gastos probables. Fuente: IS.010	19
Tabla 3: Diseño y longitudes para tubería de AF en la ruta crítica del proyecto. Fuente: Propia	19
Tabla 4: Pérdida de carga por unidad de longitud en cada tramo crítico. Fuente: Propia.....	20
Tabla 5: Cálculos intermedios para la pérdida en la ruta crítica. Fuente: Propia.....	22
Tabla 6: Pérdidas en la ruta crítica. Fuente: Propia.....	22
Tabla 7: Pérdidas en la línea de succión e impulsión. Fuente: Propia	24
Tabla 8: Tabla comparativa de propiedades principales de cada tipo de tubería. Fuente: Shuan, 2018.....	27
Tabla 9: Diseño por tramos de la red de agua fría para el proyecto. Fuente: Propia	33



1. GENERALIDADES

1.1. Introducción

En el Perú, el sector de construcción con el transcurso del tiempo no ha tomado muchas iniciativas para impulsar la investigación de nuevas tecnologías y/o materiales que optimice el desarrollo de las instalaciones sanitarias (Shuan, 2018). Por lo que, optar por el uso de otros materiales requiere contactar especialistas con varios años de experiencia sobre el rubro y que aseguren la calidad del mismo. De este modo, grandes empresas públicas o privadas podrían apreciar la nueva innovación, la cual permite el incremento de la calidad y reducción de pérdidas, y dejar el sistema convencional, el cual invoca al uso de un material más cómodo en el sector comercial.

Además, aunque a la actualidad existen varios proyectos que incluyen el uso de nuevas tecnologías para mejorar los procesos de construcción, en el caso de las instalaciones sanitarias el 60% de los proyectos utiliza y ve con mejor apreciación el uso de tuberías de polipropileno (PPR) a comparación de las tuberías de polivinilo de cloruro (PVC) en las instalaciones de agua fría y caliente. Sin embargo, aunque sea un material nuevo para el país, este ya viene siendo usado en Alemania, país donde se inventó en 1953, donde los investigadores propusieron este sistema de termofusión debido a la vida útil de 50 años que otorgaba a las instalaciones sanitarias (Casanova, 2005). No obstante, la presencia de estos materiales genera una ardua discusión entre los proyectistas de esta especialidad debido a la interrogante sobre qué tipo de tubería utilizar, ya que muestran su preferencia por ambos.

Finalmente, en el presente trabajo de investigación se muestra el desarrollo de las instalaciones de agua fría planteado al Pabellón de las Salas de Computo basado en el uso de tuberías de polipropileno copolímero Random, de esta manera se podrá comparar los parámetros como su ámbito técnico y económico que difiere con el sistema convencional de tuberías de PVC. Esto permitirá brindar una postura para los proyectistas en sus futuras obras de construcción.

1.2. Justificación

El crecimiento poblacional ha desarrollado la necesidad de la implementación de edificaciones multifamiliares con mayores propiedades, edificios altos con gran cantidad de departamentos, edificaciones con cada vez más implementos: piscinas, gimnasios,

piletas, estacionamientos, etc. Estas nuevas características demandan una mayor cantidad de accesorios y tuberías en el proyecto por cada especialidad requerida: IISS, IIEE, CCTV, IIGG, IIMM, y otros circuitos que implican un grosor de tuberías sustancial dentro de los elementos estructurales y no estructurales. Las mismas que deben tener altos estándares de calidad y trazos con recorridos complejos.

Se ha percibido los problemas más comunes del uso del sistema convencional (tuberías PVC) en varios ámbitos, siendo el proceso constructivo y la etapa operativa algunos de ellos. Esto es percibido debido a que las tuberías PVC presentan con facilidad fisuras por resistencia insuficiente ante impactos, rupturas de los codos y tees, fugas en uniones de accesorios, dificultad al realizar reparaciones en las tuberías, fallas al realizar las pruebas hidráulicas, etc. Asimismo, las tuberías para la red de agua se suelen instalar de forma masiva en los proyectos, por ello es muy importante la facilidad y la rentabilidad de la instalación. En consecuencia, surge la necesidad de estudiar nuevos materiales y los impactos de rendimiento, recursos y ambiente.

En el presente documento de investigación se desarrollará un comparativo entre el sistema de tuberías PVC y el sistema de tuberías de polipropileno o PPR. Este último es reciente en la industria de la construcción en el Perú, a pesar de contar con numerosas ventajas a corto y largo plazo.

Los contratiempos encontrados en el sistema convencional pueden ser evitados mediante el uso de tuberías PPR, estas presentan mejores propiedades de flexibilidad, resistencia al impacto, resistencia a la temperatura, entre otras características redactadas en el documento, que no solo mejorará el diseño de la red en desempeño, sino también en rendimiento del personal. Asimismo, en el ámbito económico, los elementos de polipropileno poseen una variación mayor en el costo, sin embargo, esto no sucede en la instalación, debido a que las tuberías PVC requieren de recursos adicionales como lo son el pegamento y líquidos de limpieza.

Finalmente, el entendimiento y el estudio de este nuevo material en los procesos constructivos fomentarán el uso de nuevas alternativas que proporcionan mayores beneficios sociales, económicos y ambientales.

1.3. Alcance

Esta investigación cubre las condiciones de trazo y diseño de tuberías de polipropileno necesarias para ser aplicadas en un ejemplo de edificación, además de los parámetros indispensables para un sistema de agua fría en el área de instalaciones sanitarias. Todo esto aplicado durante la elaboración de un expediente técnico en cualquier proyecto. Además, al discutir y comparar los resultados obtenidos mediante el uso de dos materiales (PPR y PVC), permite llegar a conclusiones que servirán para optar por alguna de ellas. Esto en base a criterios económicos, técnicos y constructivos que deben tomarse en cuenta para el análisis.

1.4. Objetivos

Objetivo general

- Evaluar el desempeño de las tuberías de polipropileno para el sistema de red de agua potable de un proyecto de construcción.

Objetivos específicos

- Evaluar las diferencias generadas al colocar las tuberías de PPR a cambio de las tuberías de PVC.
- Diseñar la red de agua potable con tuberías de polipropileno para un proyecto de construcción.
- Analizar los resultados del diseño de tuberías PPR, comparando objetivamente las características encontradas en ambos materiales.

1.5. Metodología

El desarrollo del presente trabajo de investigación se inició con una revisión bibliográfica por parte de todos los integrantes del grupo, de manera individual. Con esto se fortaleció el conocimiento del tema en cuanto a la importancia de la aplicación y los criterios de uso de las tuberías de polipropileno (PPR), y también permitió iniciar con la redacción de las generalidades con el marco teórico del documento final. Como continuación del proceso, se desarrolló la investigación trazando y diseñando las tuberías de polipropileno para la red de agua fría de la edificación que se nos asignó como parte del curso Proyecto Integrador en Ingeniería Civil (Pabellón de salas de cómputo del colegio), considerando

las especificaciones técnicas y condiciones de trabajo que se señalaron como información inicial. Luego, se tuvo la etapa de discusión. En ella los integrantes compararon características de los resultados y procesos constructivos para este tipo de tuberías, frente a las de PVC que se emplearon para el expediente técnico de la edificación. Finalmente, se establecieron las conclusiones y recomendaciones de la indagación.

Cabe mencionar que se tuvo un trabajo continuo a lo largo de todo un semestre académico. Esto debido a que el trabajo consistió en tareas o entregables parciales programados en el cronograma del curso, los cuales fueron revisados por un profesor especialista en el área de instalaciones; él nos brindó correcciones y recomendaciones para afinar tanto la revisión de literatura como el desarrollo del trabajo.



2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Tubería de Policloruro de Vinilo (PVC)

En el país, el material preferido de los sistemas de tuberías es el PVC, debido a la facilidad de unión de las tuberías con sus accesorios lo que permite una reducción del tiempo de instalación, mano de obra y transiciones perfectas (Villafuerte, 2018). A ello se añade, la versatilidad en sus propiedades y la excelente relación de costo económico-tiempo de vida útil, posibilitando que más personas accedan a sus beneficios.

2.1.1. Información sobre el Policloruro de Vinilo (PVC)

El policloruro de vinilo (PVC) es un producto petroquímico, con un 57% de cloro (componente que aporta resistencia al fuego) y 43% de carbono, que proviene del proceso de polimerización de diversas moléculas de monómero de cloruro de vinilo (VCM), sustancias sólidas y químicamente estables que no afectan la salud humana.

Las principales materias primas del monómero de cloruro de vinilo (VCM), son el etileno (C_2H_4) y el cloro, los cuales reaccionan dentro de un reactor con un catalizador provocando dicloruro de etileno (EDC), el cual se agrieta térmicamente para formar monómero de cloruro de vinilo (VCM).

En la siguiente figura, se observa que las industrias de la parte superior son las que proporcionan las materias primas del VCM, por ejemplo: la industria petroquímica básica fabrica el etileno a partir de la nafta que suministra la industria de refinería de petróleo, el cual trabaja con el petróleo crudo; mientras que la industria de cloro-alcalino genera la soda cáustica y cloro, mediante la electrólisis de la sal de grado industrial (PVC Forum South East Europe, 2010).

De esta manera, la materia prima llega a la industria de la resina de PVC, el cual realiza como proceso de producción: la polimerización en suspensión y se embarca el material en forma de polvo blanco, a la industria de conversión de PVC.

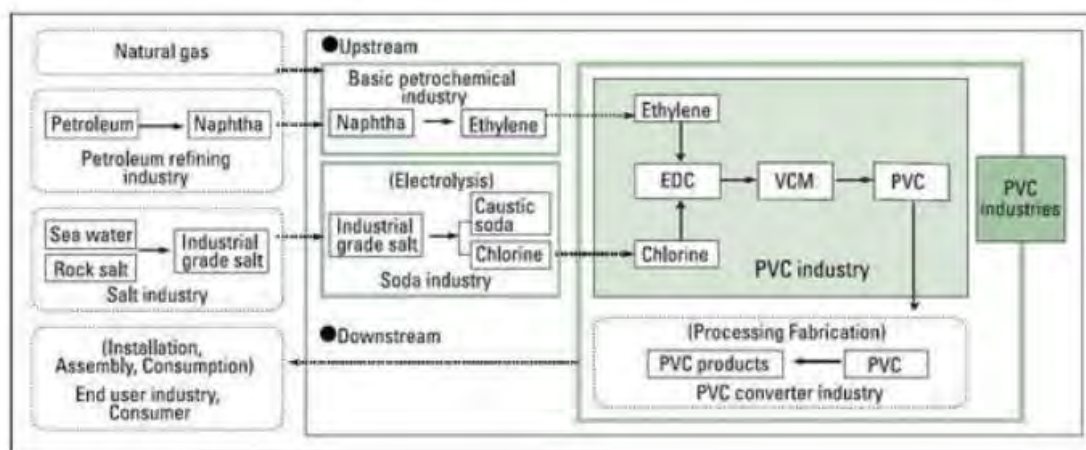


Figura 1: Industrias que participan en la elaboración del Policloruro de Vinilo. Fuente: PVC Forum South East Europe, 2010

Proceso de fabricación de la tubería de Policloruro de Vinilo (PVC)

La industria de conversión de PVC se encarga de realizar la composición entre la resina del PVC y los aditivos, los cuales pasan por diversos procesos: extrusión, moldeo y solidificación, hasta crear la tubería de PVC. El compuesto ingresa por los tornillos giratorios, siendo transportada a cierta temperatura controlada, hasta convertir el compuesto en una masa viscosa. Luego, el material visco-elástico es empujada a alta presión para conseguir el moldeo del plástico caliente, durante esta etapa se le da las dimensiones requeridas y los cortes, para después ser enfriado/solidificado (Shuan, 2018).

Propiedades físicas del Policloruro de Vinilo (PVC)

Las propiedades del PVC dependen de su estructura molecular amorfa y su estabilidad química, al contener cloro.

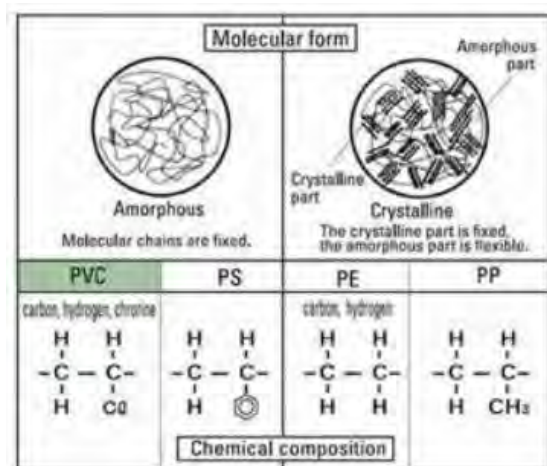


Figura 2: Estructura molecular y composición química de diferentes plásticos. Fuente: PVC Forum South East Europe, 2010

- Resistencia al fuego

Debido a su contenido de cloro, el PVC puede retardar el fuego hasta una temperatura de 455 °C; de esta manera, se considera un material con bajo riesgo de incidentes de incendio, siendo seguro en la vida de las personas.

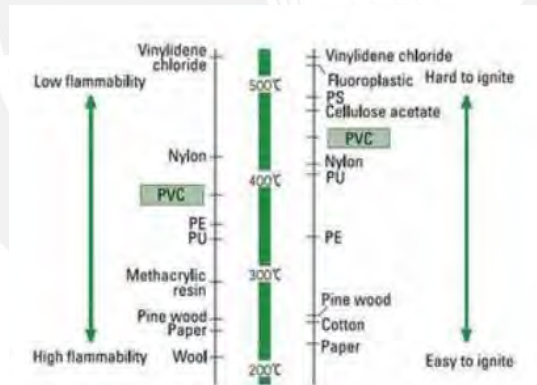


Figura 3: Temperaturas de ignición del PVC. Fuente: PVC Forum South East Europe, 2010

- Durabilidad

Al tener una estructura molecular compuesta por la unión del átomo de cloro con la cadena de carbono, produce una alta resistencia a la oxidación ante el oxígeno atmosférico, de tal forma que mantiene su durabilidad.

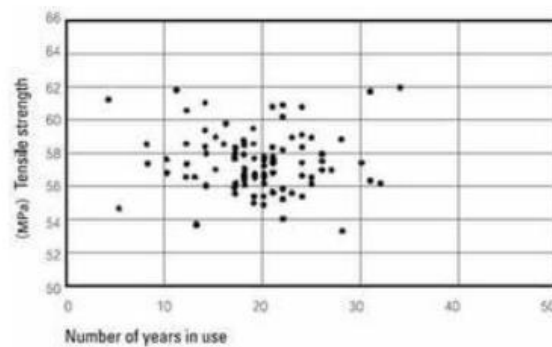


Figura 4: Medición de la durabilidad en tuberías subterráneas de PVC registradas en Japón. Fuente: Makino, 1998

- Resistencia ante productos químicos

El PVC tiene la capacidad de resistir ante productos químicos inorgánicos como: ácidos, disoluciones salinas, aceites minerales, hidrocarburos alifáticos, etc. Por este motivo, se suele utilizar en conductos de gases, tubos, mangueras y otras aplicaciones.

- Estabilidad mecánica

La baja deformación por fluencia del PVC, permite que sufra pocos cambios en su estructura molecular y en su resistencia mecánica.

- Flexibilidad

Es un material con buena trabajabilidad, en tal sentido es sencillo realizar su doblado en la fabricación, soldadura y la unión con otros elementos.

- Aislamiento eléctrico

Al tener una constante dieléctrica importante conlleva a propiedades de aislamiento eléctrico adecuadas, el cual, sumado a la resistencia al fuego, vuelven a los tubos de PVC ideales para ser usados como protección de cables de alimentación y telecomunicaciones.

- Versatilidad

En general, las aplicaciones a la que está destinada el PVC, requieren que tenga una vida útil entre 10 a 100 años; por lo tanto, es necesario que el PVC se combine con aditivos como: estabilizadores, lubricantes, plastificantes, etc.

Por medio de un mezclador, se combina el polímero con los aditivos seleccionados para llevar a cabo el proceso de composición. Es así que se obtiene una mezcla seca que se introduce al equipo de procesamiento.



Figura 5: Eficiencia en las propiedades físicas del PVC, al mezclarse con aditivos. Fuente: Makino, 1998

De esta manera, las propiedades físicas del producto final son adaptadas para cumplir con la demanda solicitada: resistencia al impacto, prevención del crecimiento microbiano, etc.

2.1.2. Situación actual de las tuberías de Policloruro de Vinilo en el sector construcción

La demanda del Policloruro de Vinilo (PVC) proviene desde la segunda guerra mundial, por la necesidad de aislar el cableado en los barcos militares; desde ese momento, diferentes compañías encontraron nuevos usos innovadores en este material, para vincularlo al sector de la construcción.

Propiedades como su resistencia ante temperaturas extremas, productos químicos y la corrosión, hicieron que se vuelva un material esencial para transportar agua a las viviendas e industrias. De esta manera, el Policloruro de Vinilo (PVC) se convirtió en el tercer plástico de mayor venta en todo el mundo.

Debido a este apogeo, el sector construcción en el Perú también adoptó al PVC como material preferido en los sistemas de tuberías, lo cual conllevó a la creación de la normativa NTP 399.002:2015, que permite controlar la calidad de las tuberías de PVC a partir de la descripción del procedimiento de instalación, los resultados de ensayos de

laboratorio y los diámetros comerciales, que rondan desde 1/2" hasta 12" fabricadas en base al sistema simple presión (pegado).

Sin embargo, con el transcurrir del tiempo, se comprobó que la fabricación de tuberías en base a PVC provoca un importante impacto ambiental, dado que si se combina el cloro con algún solvente orgánico producirá compuestos organoclorados perjudiciales para el medio ambiente (Diez & Muñoz, 2019).

Por este motivo, desde 1990, Greenpeace creó una campaña en contra del uso del PVC, por ser la principal fuente de los compuestos organoclorados, al usarse el 37% de la producción mundial de cloro en el proceso de fabricación del PVC. A partir de esta campaña varios países establecieron la eliminación progresiva del PVC: Suecia (1995), Dinamarca (1999), Alemania (1999), Eslovaquia (2011) entre otros (Greenpeace, 2001).

Aparte del impacto ambiental que produce la fabricación de las tuberías de PVC, los sistemas de tuberías también pueden presentar deficiencias en la unión de la tubería de PVC con sus accesorios y tener un elevado porcentaje de fugas; de hecho, el pegamento teflón (cinta) que se aplica para evitar filtraciones, no suele tener una adecuada efectividad para un tiempo de vida útil de 50 años. La siguiente figura presenta las fallas más comunes que ocurren en las tuberías de PVC.



Figura 6: Fallas más comunes en tuberías de PVC. Fuente: Diez & Muñoz, 2019.

En conclusión, el impacto ambiental como el mantenimiento por el elevado porcentaje de filtraciones que ocurren en las tuberías de PVC, impulsaron que en el sector construcción se opte por nuevos materiales que velen por el medioambiente. En efecto, en Europa se promovió el uso de las tuberías molecularmente orientadas (PVC-O), los cuales tienen la garantía de una completa estanqueidad de la conducción y una menor emisión de CO₂

durante todo su ciclo de vida útil (Martínez & Romero, 2015); mientras que, en el Perú, actualmente se está promoviendo el uso de tuberías de Polipropileno (PPR), por tener una completa fiabilidad de sus uniones evitando fugas del agua canalizada.

2.2. Tubería de Polipropileno (PPR)

La llegada y producción de materiales de polipropileno, su aceptación y uso en el país va creciendo con el transcurso de los años, esto gracias a sus propiedades y beneficios que llama la atención a los proyectistas por su diseño (Acuña y Villanueva, 2019). Además, este material proveniente de Alemania presenta una vida útil de 50 años, durante el cual este material posee grandes ventajas para evitar fugas y filtraciones.

2.2.1. Información sobre el PPR

El material utilizado para las tuberías fue inventado en la década de los 50s por Giulio Natta al usar los catalizadores para desarrollar el PPR propuesto por Karl Ziegler, quien intentó varias veces consiguiendo polietileno de alta densidad (Shuan, 2018). De este modo, según Concha (2014), el polipropileno es un polímero termoplástico producto de la polimerización del propileno, el cual se encuentra compuesto por hidrocarburos saturados (Figura 6). Esto permite a este material poseer una gran resistencia ante agentes químicos y ser esterilizable al vapor.

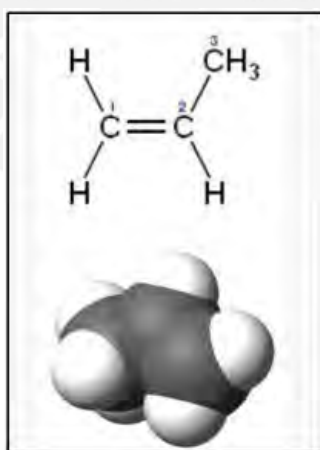


Figura 7: Forma molecular del Propileno. Fuente: Acuña y Villanueva, 2019

La materia prima base del propileno está conformada por el polietileno, el cual se encuentra junto a una ramificación de metilo (CH₃), el cual puede ser polimerizada mediante dos formas, siendo el proceso de la catalización por metallocenos la mejor. Esto debido a que produce tres diferentes materiales como el polipropileno isotáctico,

polipropileno atáctico y el polipropileno en bloque, el cual se conforma por los anteriores tipos de polipropileno (Casanova, 2005).

Proceso de fabricación de la tubería de Polipropileno (PPR)

La producción de las tuberías comienza por obtención de la materia prima dado por los elastómeros presentes en el petróleo o gas natural, estos se descomponen en monómeros y mediante catalizadores se produce la unión para la formación de los polímeros. Según Casanova (2005), esta producción sigue los pasos de extrusión y moldeo, donde la materia prima principalmente se somete a calefacción para obtener un líquido viscoso, el cual pasa a la extrusora para ejercer la presión necesaria para moldear la tubería. Luego, esta tubería pasa a un recipiente para su enfriamiento donde el material termina de dimensionar su forma.

Propiedades físicas de la tubería de Polipropileno (PPR)

Las propiedades del PPR dependen de su estructura molecular, en este caso al usar tuberías de copolímeros random, este presenta las siguientes propiedades (Forno, 2010):

- Resistencia al medio externo

Esto indica a que presenta una resistencia alta sobre su exposición de rayos solares, del mismo modo al contacto con sustancias corrosivas, cal y cemento.

- Inerte y Atóxica

Al ser usado como conductor de líquidos, este material no afecta a su color, olor y sabor.

- Resistencia Mecánica

La tubería PPR tiene la capacidad de resistir altas presiones, por lo que no existirá muchas pérdidas debido a fugas entre sus conexiones.

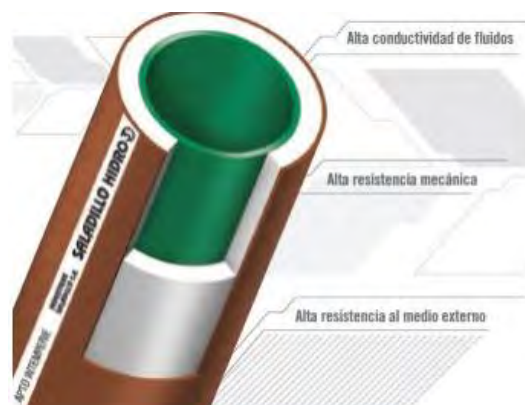


Figura 8: Estructura y propiedades de las tuberías PPR. Fuente: Shuan, 2018.

- Alta conductividad de fluidos

Este material permite la circulación libre de los fluidos, es decir, su superficie lisa otorga al diseño una reducción en cuanto a pérdidas por rozamiento.

- Baja conductividad térmica

Esta propiedad permite a la tubería transportar fluidos manteniendo su temperatura durante todo el recorrido por efecto de la tubería.

2.2.2. Situación actual de las tuberías de Polipropileno en el sector construcción

Las tuberías de polipropileno en el sector comercial se han vuelto más conocidas con el traspaso de los años, por ejemplo, según Shuan (2018), en el Perú solo existía un proveedor argentino “Argentina Akatec” hace once años, quien rescato las propiedades del polipropileno para el interés de los proyectos; sin embargo, este material no era abundante hasta que empresas chilenas abrieron sucursales hace cinco años, momento en el que empezó una nueva etapa para las instalaciones sanitarias.

Por otro lado, estas tuberías para el sector de construcción presentan tres diferentes líneas, estas se encuentran adecuadas a las distintas necesidades del proyectista (Figura 8). Según la empresa Polifusión (2020), estas líneas son tubería ppr 3 – Línea azul, tubería ppr 3 – Línea negra y tubería ppr 3 – Línea verde.

- Tubería PPR 3 – Línea Azul:

Este tipo de tubería es utilizada para distribución de agua fría en casas, edificios, etc.

- Tubería PPR 3 – Línea Negra:

Este tipo de tubería es utilizada para sistemas de calefacción, asimismo, para instalaciones sanitarias, está orientada a requerimientos de baja presión y temperatura.

- Tubería PPR 3 – Línea Verde:

Este tipo de tubería es utilizada para distribución de agua fría y caliente en casas, edificios, etc. Además, posee gran resistencia al uso en obra.



Figura 9: Líneas de comercialización para uso en construcción. Fuente: Polifusión

Además, la aplicación de estas tuberías según Fabian y Sandoval (2013), estas son clasificadas de acuerdo a la presión que resisten, por lo que se encuentran denominados por series como serie 5, serie 3.2 y serie 2.5.

- Serie 5 (PN 10)

Presenta una resistencia a la presión hasta 145 lb/pulg^2 . Recomendada para la distribución de agua fría, montantes y tuberías enterradas.

- Serie 3.2 (PN 16)

Presenta una resistencia a la presión hasta 232 lb/pulg^2 . Recomendada para la distribución de agua caliente, recirculación de agua e incluso usos industriales y de calefacción.

- Serie 2.5 (PN 20)

Presenta una resistencia a la presión hasta 290 lb/pulg^2 . Recomendada para el sector minero y agrícola.

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Con los conceptos del material (PPR) estudiados en cuanto a su composición, proceso de fabricación y características técnicas, se realizará el trazo y diseño de las tuberías para la red de agua fría del proyecto “Pabellón de Salas de Cómputo del Colegio”. Esto corresponde a las instalaciones sanitarias en la ejecución de la obra y como tal en su memoria descriptiva, solo se implementará agua fría para los 4 baños ubicados en ambos pisos (Uno para varones y otro para damas). Además, para este sistema se contempla una alimentación indirecta inferior (Con cisterna, bombas y tanque hidroneumático). A continuación, se muestra una vista en planta del pabellón y un detalle de los baños mencionados, y se procede con la elaboración de la red de tuberías de polipropileno.

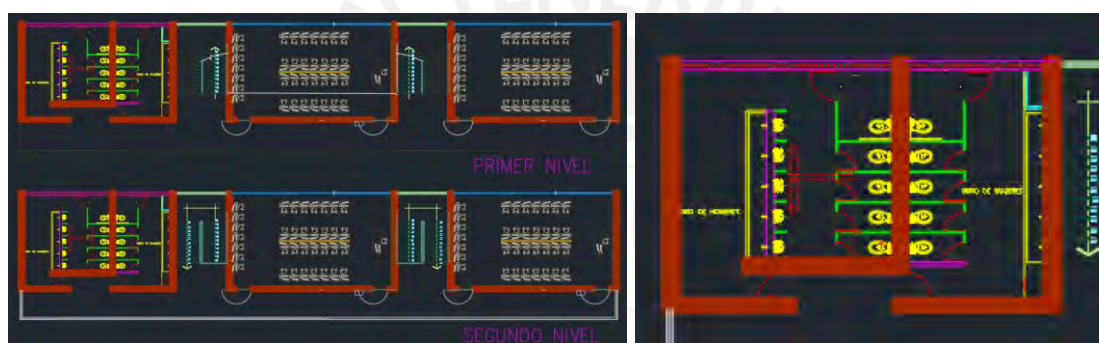


Figura 10: Vistas en planta del pabellón y baños típicos por piso. Fuente: Ramírez, 2020

3.1. Trazado de tuberías PPR en el Pabellón de Salas de Cómputo del Colegio

Para el trazo de la red de agua fría, se partió desde la cisterna ubicada 2 metros a la izquierda de la planta del pabellón. Siguiendo el camino por un cuarto de bombas para impulsar el agua hasta el aparato más desfavorable (Cuestión que se calculará en la siguiente sección) y el tanque hidroneumático para garantizar presión, en la revisión bibliográfica realizada no se encontraron condiciones o limitantes. Salvo el caso de gradiente de temperatura en el líquido que circule por las tuberías, lo cual implicaría una dilatación o contracción del material (Polipropileno), la temperatura del agua para este proyecto será constante de acuerdo a la empresa que suministrará la edificación. Por ende, la única consideración que se tendrá para el trazo es evitar pasar longitudinal o transversalmente por algún elemento estructural, solo se pasará a través de tabiquerías o muros no portantes. La siguiente figura muestra la distribución de placas y columnas en la zona de los baños en ambas plantas.

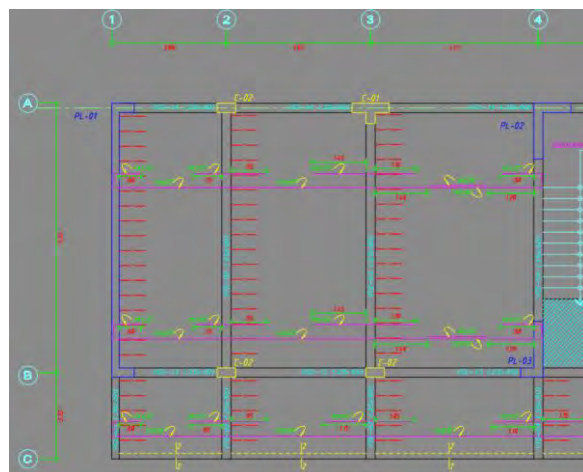


Figura 11: Elementos estructurales verticales en la zona de baños. Fuente: Propia

La placa que abarca todo el borde izquierdo (Eje 1) de la edificación impide que la red de tuberías pase perpendicularmente por esa zona. Además, los paños inferiores forman parte de los pasillos tanto en el primer como en el segundo nivel de la estructura (Entre ejes B y C), lo cual resulta impráctico para poder realizar futuros mantenimientos sanitarios. Es por ello que se pensó en pasar las tuberías del primer nivel a través del borde superior (Eje A). Incluso por el baño de mujeres del primer nivel se considera un ducto, preciso para llevar la red hacia el segundo nivel. Se aprecia la distribución final del trazado por piso para agua fría en las siguientes figuras, abasteciendo a todos los aparatos sanitarios requeridos para la zona de los baños tanto en el primer como en el segundo piso (A través del ducto en el baño de mujeres). Para limitar los tramos para el diseño de las tuberías, se emplearon letras del abecedario (Con precedentes de ser el caso que exceda el número, para intersecciones en Tee o llegando a un aparato sanitario).

Cabe mencionar que se considera un tramo cuando no hay cambio en las unidades de gasto en los elementos del mismo. Además, analizando la trayectoria de la red, se puede evidenciar una ruta crítica que servirá para la siguiente sección en el cálculo de pérdidas (Diseño que resulta diferente a comparación del uso de PVC). En este caso, el inodoro con válvula semiautomática ubicado en el baño de hombres del segundo piso, resulta ser el aparato sanitario más desfavorable (Ver figura).



Figura 12: Red de agua fría en el primer piso. Fuente: Propia

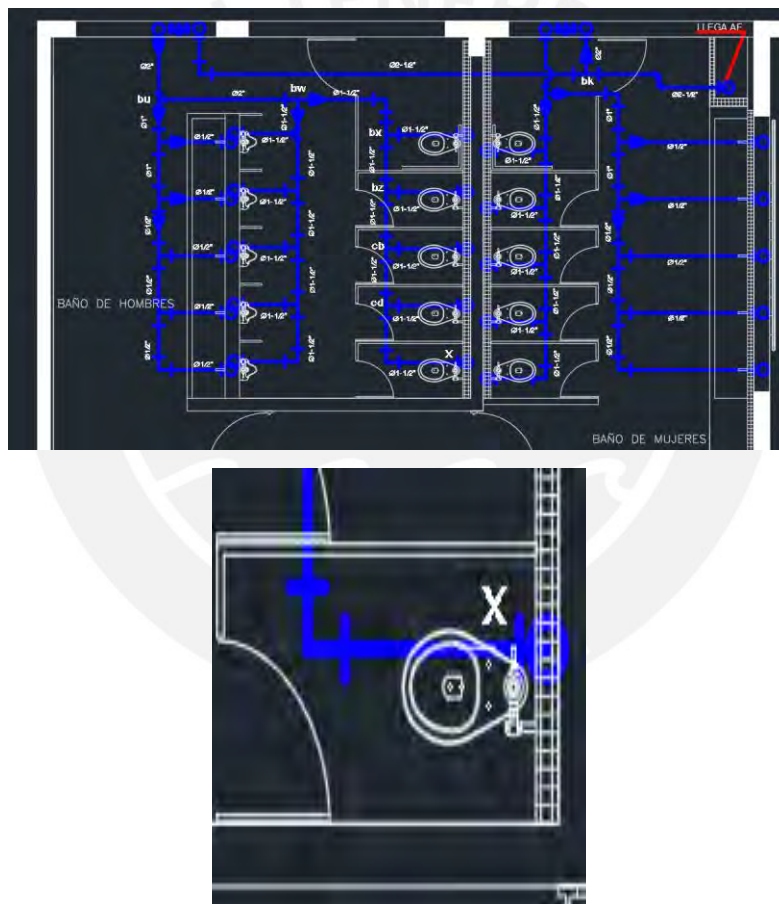


Figura 13: Red de agua fría en el segundo piso y aparato desfavorable. Fuente: Propia

3.2. Diseño de tuberías PPR en el Pabellón de Salas de Cómputo del Colegio

Para el diseño, una vez trazada la línea se procede a asignar las unidades de gasto por cada aparato sanitario. Se identificaron los siguientes: Inodoro con válvula semi automática, lavatorio múltiple y urinario con válvula semi automática. Como el proyecto

resulta ser de uso público al tratarse de un colegio de educación secundaria, se emplearán las Unidades de Gasto (UG) especificadas en el Anexo 2 de la norma IS.010 y que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1: Unidades de gasto para aparatos de uso público. Fuente: IS.010

Aparato Sanitario	Tipo	UG – Agua Fría
Inodoro	Con válvula semi automática	8.00
Lavatorio	Múltiple / Cada salida	1.50
Urinario	Con válvula semi automática	5.00

Ahora, la norma IS.010 nos permite diseñar a partir de un caudal probable en función de las UG asignadas a cada tramo de la red como parte del método de Hunter, por ello se ilustran en la siguiente figura los gastos probables para el uso del método. De dicha tabla se utilizarán los valores de gasto de la columna “Gastos probables válvula”. Por ejemplo, para 28 UG, se estima que el gasto probable sea de 1.51 lps.

GASTOS PROBABLES PARA APLICACIÓN DE MÉTODO DE HUNTER (lt/s ó lps)											
Nº UNIDADES	GASTOS PROBABLE TANQUE	GASTOS PROBABLE VÁLVULA	Nº UNIDADES	GASTOS PROBABLE TANQUE	GASTOS PROBABLE VÁLVULA	Nº UNIDADES	GASTOS PROBABLE TANQUE	GASTOS PROBABLE VÁLVULA	Nº UNIDADES	GASTOS PROBABLE TANQUE	GASTOS PROBABLE VÁLVULA
0.75	0.03	-	30	0.75	1.55	120	1.83	2.72	380	3.83	4.60
1	0.04	-	32	0.79	1.59	130	1.91	2.80	400	3.97	4.72
1.50	0.06	-	34	0.82	1.63	140	1.98	2.85	420	4.12	4.84
2	0.08	-	36	0.85	1.67	150	2.06	2.95	440	4.27	4.96
2.50	0.10	-	38	0.88	1.70	160	2.14	3.04	460	4.42	5.08
3	0.12	-	40	0.91	1.74	170	2.22	3.12	480	4.57	5.20
4	0.18	-	42	0.95	1.78	180	2.29	3.20	500	4.71	5.31
5	0.23	0.91	44	1.00	1.82	190	2.37	3.25	550	5.02	5.57
6	0.25	0.94	46	1.03	1.84	200	2.45	3.36	600	5.34	5.83
7	0.28	0.97	48	1.09	1.92	210	2.53	3.44	650	5.85	6.09
8	0.29	1.00	50	1.13	1.97	220	2.60	3.51	700	5.95	6.35
9	0.32	1.05	55	1.19	2.04	230	2.65	3.58	750	6.20	6.61
10	0.34	1.06	60	1.25	2.11	240	2.75	3.65	800	6.60	6.84
12	0.38	1.12	65	1.31	2.17	250	2.84	3.71	850	6.91	7.11
14	0.42	1.17	70	1.36	2.23	260	2.91	3.79	900	7.22	7.36
16	0.46	1.22	75	1.41	2.29	270	2.99	3.87	950	7.53	7.61
18	0.50	1.27	80	1.45	2.35	280	3.07	3.94	1000	7.84	7.85
20	0.54	1.33	85	1.50	2.40	290	3.15	4.04	Método de Roy B. Hunter: Está basado en la teoría de probabilidades al cálculo de gastos en los sistemas de plomería		
22	0.58	1.37	90	1.56	2.45	300	3.32	4.12			
24	0.61	1.42	95	1.62	2.50	320	3.37	4.24			
26	0.67	1.45	100	1.67	2.55	340	3.52	4.35			
28	0.71	1.51	110	1.75	2.60	360	3.67	4.46			

Figura 14: Gastos probables para aplicación del método de Hunter. Fuente: IS.010

En caso el valor no esté especificado en la tabla, se procede a interpolar con los valores mayor y menor correspondientes. Teniendo resultados, el siguiente paso es calcular los diámetros a partir de la fórmula de Hazen Williams:

$$V = 0.8494 * C * R^{0.63} * S^{0.54}$$

Pero debido a que nos estamos rigiendo por el reglamento nacional, se permite utilizar tablas que simplifiquen los cálculos teniendo en cuenta los diámetros comerciales (En este caso para PPR). Basta con ver la siguiente tabla para la elección del diámetro máximo y mínimo permitido para cada tramo de acuerdo con su gasto probable en lps.

Tabla 2: Diámetros para los gastos probables. Fuente: IS.010

Diámetro (Pulg)	Velocidad máxima (m/s)	Q máx (lps)	Q mín (lps)
1/2"	1.9	0.24	0.08
3/4"	2.2	0.63	0.17
1"	2.48	1.26	0.3
1-1/4"	2.85	2.26	0.48
1-1/2"	3	2.48	0.68
2"	3	6.19	1.22
2-1/2"	3	9.67	1.90
3"	3	13.92	2.14

Por ejemplo, si el caudal probable es de 2 lps, la metodología de la tabla nos dice que como diámetro mínimo de tubería se utiliza 1-1/4" y como máximo 2-1/2". A continuación, y a manera de ejemplo para seguir con el cálculo de pérdidas, se muestran los resultados del diseño para la ruta crítica especificada en la sección del trazo (Con su nomenclatura por tramos). **La tabla también servirá para calcular las pérdidas producto de la longitud de tubería y accesorios de acuerdo a los diámetros elegidos.** En los anexos se encuentra el detalle para toda la red de agua fría.

Tabla 3: Diseño y longitudes para tubería de AF en la ruta crítica del proyecto. Fuente: Propia

Tramo	Longitud (m)	UG	Q (lps)	Ø Mín	Ø Máx	Ø Diseño	Diámetro (Pulg)
A1-b	7.10	240.00	3.65	2	3	2-1/2	2.5
b-af	6.61	167.50	3.1	2	3	2-1/2	2.5
af-bk	9.81	120.00	2.72	2	3	2-1/2	2.5
bk-bu	8.97	72.50	2.26	1-1/2	3	2-1/2	2.5
bu-bw	2.20	65.00	2.17	1-1/4	3	2	2
bw-bx	1.93	40.00	1.74	1-1/4	2-1/2	1-1/2	1.5
bx-bz	1.15	32.00	1.59	1-1/4	2	1-1/2	1.5
bz-cb	0.90	24.00	1.42	1-1/4	2	1-1/2	1.5
cb-cd	0.90	16.00	1.22	1	1-1/2	1-1/2	1.5
cd-X	2.58	8.00	1	1	1-1/2	1-1/2	1.5

Ahora, debemos tener presente que el material a utilizar para estas tuberías es Polipropileno Copolímero Random. Por ende, variarán las pérdidas en metros de columna de agua si utilizamos manuales técnicos para uso de dicho material. Para los cálculos de pérdidas en la ruta crítica desde la succión hasta la salida por el aparato más desfavorable, se debe tener en consideración la siguiente expresión de acuerdo al manual. Esta resulta ser la misma de Hazen y Williams, pero con la adaptación a las unidades a emplear:

$$Q = 0.2787 * C * S^{0.54} * D^{1.63}$$

Donde:

- Q = Caudal en m³/s
- C = Coeficiente de rugosidad del tubo. Para polipropileno: C = 150
- D = Diámetro de la tubería en m
- S = Pendiente o pérdida de carga por unidad de longitud de la tubería en m/m

Se despeja el valor de S y el mismo servirá para calcular la pérdida en cada tramo. La siguiente tabla muestra los valores en cuestión. Estos valores servirán para pérdidas longitudinales, las cuales se expresan como:

$$J = S * L \text{ tubería}$$

Tabla 4: Pérdida de carga por unidad de longitud en cada tramo crítico. Fuente: Propia

Tramo	S (m/m)
A1-b	0.020625
b-af	0.015242
af-bk	0.011964
bk-bu	0.008489
bu-bw	0.023344
bw-bx	0.062958
bx-bz	0.053278
bz-cb	0.043212
cb-cd	0.032622
cd-X	0.022573

Ahora, para las pérdidas en los accesorios, se toman en consideración las siguientes expresiones:

$$J_s = \sum K * Z$$

Donde:

- J_s = Pérdidas en cada accesorio de la red de tubería en m.c.a.
- K = Coeficiente de proporcionalidad
- $Z = v^2/2g$

Para los coeficientes de proporcionalidad, se tomarán los adecuados para tuberías de polipropileno, extraídas de un manual de diseño con el material de estudio. Se muestra en la imagen a continuación.






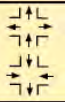












FITTING	DIAGRAMA	FLUJO	"K"
			0,25
		Reducción de 1 Diámetro de 2 Diámetro de 3 Diámetro de 4 Diámetro	0,40 0,5 0,6 0,7
			2,1 3,7
			0,25
			1,20
			0,80
			1,80
			3,00
			0,50
			1,20

Figura 15: Coeficientes de proporción. Fuente: Polifusión S.A.

De esta manera se muestran los resultados intermedios para el cálculo de las pérdidas en los accesorios en la siguiente tabla.

Tabla 5: Cálculos intermedios para la pérdida en la ruta crítica. Fuente: Propia

Tramo	Diámetro (Pulg)	Diámetro (m)	Velocidad (m/s)	Z
A1-b	2.5	0.0635	1.152	0.067
b-af	2.5	0.0635	0.978	0.048
af-bk	2.5	0.0635	0.858	0.037
bk-bu	2.5	0.0635	0.713	0.025
bu-bw	2	0.0508	1.070	0.058
bw-bx	1.5	0.0381	1.526	0.118
bx-bz	1.5	0.0381	1.394	0.099
bz-cb	1.5	0.0381	1.245	0.079
cb-cd	1.5	0.0381	1.070	0.058
cd-X	1.5	0.0381	0.877	0.039

Una vez realizados todos los cálculos intermedios, se suman las pérdidas tanto longitudinales como por accesorios en cada tramo, con las fórmulas indicadas. El resumen para la ruta crítica del proyecto utilizando tuberías de polipropileno se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 6: Pérdidas en la ruta crítica. Fuente: Propia

PÉRDIDAS - RUTA CRÍTICA					
Tramo	Datos		Elemento		H (m.c.a.)
			Descripción	Js (C=150)	
A1-b	Longitud	7.104	2 Codo 90° PVC 2-1/2"	0.1625	0.3259
	Z	0.068	1 Tee 2-1/2"	0.0169	
	Q	3.650	7.1 m de tubería 2-1/2"	0.1464	
	S	0.021			
b-af	Longitud	6.611	1 Tee 2-1/2"	0.0122	0.1128
	Z	0.049	6.6 m de tubería 2-1/2"	0.1006	
	Q	3.100			
	S	0.015			
af-bk	Longitud	9.810	1 Tee 2-1/2"	0.0094	0.5301

	Z	0.038	9.81 m de tubería 2-1/2"	0.2500	
	Q	2.720	6 Codos 90° 2-1/2"	0.2707	
	S	0.025			
bk-bu	Longitud	8.970	1 Tee 2" (Derivada)	0.0311	0.3573
	Z	0.026	8.97 m de tubería 2-1/2"	0.1623	
	Q	2.260	5 Codo 90° 2-1/2"	0.1557	
	S	0.018	Válvula compuerta 2-1/2"	0.0081	
bu-bw	Longitud	2.200	1 Tee 2"	0.0146	0.1240
	Z	0.058	2.20 m de tubería 2"	0.1094	
	Q	2.170			
	S	0.050			
bw-bx	Longitud	1.930	1 Tee 1-1/2"	0.0297	0.4787
	Z	0.119	1.93 m de tubería 1-1/2"	0.2590	
	Q	1.740	Reducción de 2" a 1-1/2"	0.0475	
	S	0.134	Codo 90° 1-1/2"	0.1425	
bx-bz	Longitud	1.150	1 Tee 1-1/2"	0.0248	0.1554
	Z	0.099	1.15 m de tubería 2-1/2"	0.1306	
	Q	1.590			
	S	0.114			
bz-cb	Longitud	0.900	1 Tee 1-1/2"	0.0198	0.1027
	Z	0.079	0.90 m de tubería 1-1/2"	0.0829	
	Q	1.420			
	S	0.092			
cb-cd	Longitud	0.900	1 Tee 1-1/2"	0.0146	0.0772
	Z	0.058	0.90 m de tubería 1-1/2"	0.0626	
	Q	1.220			
	S	0.070			
cd-X	Longitud	2.580	3 codos 90° 1-1/2"	0.1412	0.2654
	Z	0.039	2.58 m de tubería 1/2"	0.1243	
	Q	1.000			
	S	0.048			
TOTAL					2.530

Adicionalmente, se tiene para la línea de succión e impulsión de la cisterna las siguientes pérdidas de acuerdo con la tabla aplicando el mismo procedimiento anterior:

Tabla 7: Pérdidas en la línea de succión e impulsión. Fuente: Propia

Elemento	Js (C=150)	S	Z	H (m.c.a.)
1 válvula de pie 1-1/2"	0.185	0.02625	0.06770	0.539
3.20 m de tubería PVC 1-1/2"	0.088			
2 codo 90° 1-1/2"	0.167			
2 válvula compuerta de 1-1/2"	0.027			
1 válvula check 2"	0.072			

Con los cálculos anteriores realizados, se tiene una altura total de agua requerida para el artefacto crítico (Ubicado en el baño de hombres a 4.4 metros de altura):

$$H = 2.530 + 0.539 + 4.400 = 7.47 \text{ m}$$

Con este valor se determina la potencia requerida para un 70% recomendado de eficiencia:

$$Pot = 3.65 * \frac{7.47}{0.7} * 1 * 9.81 = \frac{\gamma QH}{n} = 382.05 \text{ Watts} = 0.512 \text{ HP}$$

Para la marca Hidrostral de bombas (Monoblock Series B y C), se elige la bomba modelo "B1. 1/2x2-0.8 M" de 0.8 HP de la Figura 16. Esto para asegurar un caudal probable según el método de diseño de 1 lps que demanda el aparato más crítico de acuerdo a la ruta crítica, verificado en la curva de operación de la Figura 17.

MODELO	DIAMETRO EJE (PULG.)		MOTOR			SUC.	DES.		
	IMPULSOR	SELLO	F.S.	HP	FRAME				
B1x1.1/2-3.4 T	NF 7/16	5/8	1.0	3.4	NEMA F56H	1.1/2"	1"		
B1.1/2x2-0.8 M				0.8	NEMA C56	2"	1.1/2"		
B1.1/2x2-1.4 M				1.4	NEMA D56				
B1.1/2x2-1.9 T				1.9	NEMA D56				
B1.1/2x2-3.4 T				3.4	NEMA F56H	2.1/2"	1.1/2"		
B1.1/2x2-5.7 T	NF 7/8	1.1/8		5.7	IEC 100L				
B1.1/2x2.1/2-1.4 M	NF 7/16	5/8		1.4	NEMA D56	2"	1.1/2"		
B1.1/2x2.1/2-1.9 M				1.9	NEMA D56				
B1.1/2x2.1/2-3.4 T				3.4	NEMA F56H				
B1.1/2x2.1/2-5.7 T	NF 7/8	1.1/8		5.7	IEC 100L	2.1/2"	1.1/2"		
B1.1/2x2.1/2-8.6 T				8.6	IEC 112M				
C1.1/2x2-5.7 T				5.7	IEC 100L	2"			
C1.1/2x2-8.6 T				8.6	IEC 112M				
C1.1/2x2.1/2-11.5 T				11.5	IEC 132S	2.1/2"			
C2x3-11.5 T				11.5	IEC 132S				
						3"	2"		

Figura 16: Datos técnicos de las electrobombas Hidrostral. Fuente: Hidrostral

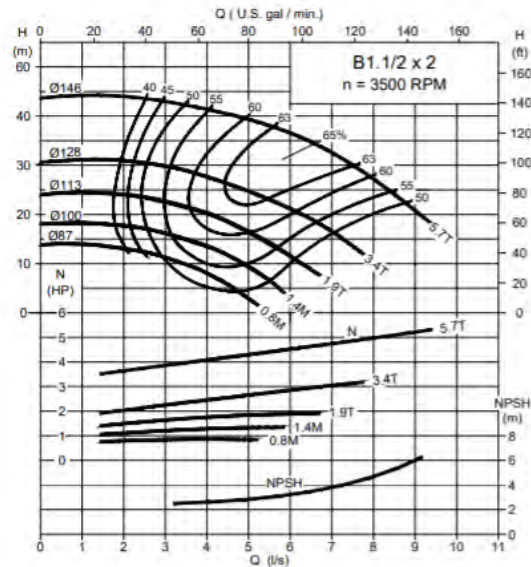


Figura 17: Curva de operación en condiciones normales (Agua Limpia). Fuente: Hidrostral

Finalmente, para la elección del tanque hidroneumático, se determina la presión mínima y máxima para el sistema:

$$P_{\text{mín}} = 7.47 * 1.42 = 10.58 \text{ psi}$$

Se aproxima este valor a 20 psi, ya que es el mínimo comercial:

$$P_{\text{mín}} = 20 \text{ psi}$$

$$P_{\text{máx}} = P_{\text{mín}} + 20 = 40 \text{ psi}$$

$$P_{\text{prom}} = 30 \text{ psi}$$

Finalmente, para las presiones calculadas:

$$V = 44 * Q * \frac{P_{\text{máx}} + 14.70}{P_{\text{máx}} - P_{\text{mín}}} = 439.24 \text{ galones}$$

Con esto se concluye que el volumen del TH requerido es de 440 galones aproximadamente. El régimen de operación de la bomba: Prende a la presión de 20 psi y apaga a la presión de 40 psi, que es la máxima de diseño.

3.3. Discusión

Con la revisión de literatura y el desarrollo del diseño de tuberías de polipropileno (PPR), se evidenciaron similitudes y diferencias respecto al uso común de PVC en el país. Es así que, en el proyecto, la metodología para el diseño aplicada se referencia del Título III (Edificaciones), Capítulo 3 (Instalaciones Sanitarias) del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Esto en su norma de Instalaciones Sanitarias IS.010. Los gastos probables o caudales a partir de las Unidades de Gasto otorgadas a cada aparato sanitario con el método de Hunter generaron diámetros de diseño similares a una red de agua fría con tuberías de PVC. La razón de la similitud es que ambas parten de la ecuación de Hazen Williams. Ahora, conviene separar las demás comparaciones en los siguientes criterios presentados a continuación.

3.3.1. Comparación de características técnicas

Teniendo la información de ambas tuberías, las características más resaltantes en base a los distintos autores citados se basan en la siguiente tabla comparativa (Tabla 8). De este modo, se puede apreciar las ventajas del uso del sistema PPR a comparación del sistema PVC, asimismo, cabe mencionar que, aunque existe esta información, la mayor cantidad de especialistas desarrollan proyectos usando un sistema convencional, según estudios de Fabia y Sandoval (2013).

Finalmente, las tuberías PPR posee una composición menos tóxica debido a la ausencia de químicos y sustancias de cloro, lo cual es amigable para el medio ambiente. Además, presenta mejor resistencia a los rayos solares (RU), ya que las tuberías PVC si no cuenta con aditivos que eviten la resequedad debido a la radiación, esta genera fracturas en el material.

Tabla 8: Tabla comparativa de propiedades principales de cada tipo de tubería. Fuente: Shuan, 2018.

PROPIEDADES	PVC-CPVC	PPR
Composición Química	Policloruro de vinilo Clorado.	Hidrocarburos saturados.
Tipo de unión	Pegado	Termofusión
Dilatación	Escasa, requiere uso de compensadores	Presenta elasticidad y flexibilidad, óptimo para situaciones sísmicas.
Coefficiente de Rugosidad (C)	C = 140	C = 150
Resistencia al exterior	Resistencia a los rayos UV con uso de aditivos.	Resistencia a los rayos UV.
Vida útil	10 a 20 años.	Más de 50 años
Toxicidad	Puede producir compuestos organoclorados, al contacto con un solvente orgánico.	Es atóxico.

3.3.2. Comparación de características económicas

Para poder comparar los precios entre las tuberías de polipropileno (PPR) y las tuberías de PVC, es importante no solo considerar el costo del material en sí por metro. Si no, que resulta necesario realizar un análisis de los otros elementos y consideraciones que se desarrollan a partir de las partidas en las que utilizarían las tuberías de PPR. Si bien es cierto que el costo por metro de las tuberías de PPR es más elevado que las tuberías de PVC, se puede afirmar que la mano de obra resulta un tanto más económica en el primer tipo de tubería. La cantidad de tiempo que toma realizar la termofusión de las tuberías comparado con el tiempo que toma la unión de las tuberías de PVC (Colocar el pegamento y esperar a que seque) es significativamente menor. Por lo que la velocidad de habilitación y colocación de las tuberías de PPR comparado con las de PVC resulta mayor. Esta mayor velocidad se traduce en un costo menor para las tuberías de PPR frente a las de PVC.

Otro aspecto que hay que considerar es la calidad de la unión de las tuberías de PVC y las de PPR que, a lo largo del tiempo se convierten en costos. La unión de las tuberías de PPR es más fuerte debido a que se realiza una fusión de partículas. Por el contrario, en las tuberías de PVC la unión de las piezas se realiza con el pegamento que es más

propenso a fallar. Esta falla en el caso se da en una etapa avanzada de la obra o ya en la entrega del proyecto se convierte en un costo elevado de reparación de la falla.

3.3.3. Comparación en el proceso constructivo

A pesar de que el rendimiento de la mano de obra puede marcar una gran diferencia, formando un flujo de trabajo desde la recepción del material en obra hasta la finalización de la instalación de las tuberías tanto de PVC como de PPR, no nos enfocaremos en dichos valores. La orientación va hacia las ventajas y desventajas durante el proceso de instalación (Enfocado al tiempo) estipulado en las fichas técnicas o manuales para los materiales en cuestión.

De acuerdo con Fabian & Sandoval (2013), existen ventajas del PPR respecto al PVC. Primero, el uso de pegamentos. Mientras que el PVC lo requiere, el otro solo necesita del sistema de termofusión. Esto significa un ahorro de hasta cinco veces el tiempo que demoraría en secar el pegamento. Con esto el procedimiento constructivo se agiliza para las múltiples uniones que existan en la red de agua (Agua fría en nuestro caso). Cabe mencionar, además, que la unión de pegamento es superficial; mientras que la del polipropileno es molecular, debido al cambio de temperatura que forma una sola pieza. Este proceso debe estar correctamente instruido a los operadores encargados del procedimiento de termofusión. Además, las válvulas de control de polipropileno no requieren del encofrado del nicho, ni emplear uniones universales, niples, entre otros. Resulta otro motivo para acelerar el proceso.

En contraparte, como desventaja se debe tener cuidado con el fusión de las tuberías, ya que es posible que se generen rebabas. Estas en un largo plazo podrían reducir el diámetro interno del material acabado. Además, se requiere de uso de energía eléctrica durante el proceso, cosa que no se contempla para el PVC, y que también significa un impacto en las condiciones de trabajo en la obra de construcción.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

En la construcción de edificaciones, sigue siendo común el uso de PVC como material de las instalaciones sanitarias. Para aspectos económicos y de construcción, resultan favorables a simple inspección. Sin embargo, hemos comprobado que utilizar otro tipo de material para la tubería puede cumplir la misma función. En este caso el PPR podría ser mejor a corto y largo plazo para el diseño del expediente de un proyecto, como el que desarrollamos en la investigación. Son pocos los proyectos que cuentan con su implementación, lo ideal sería fomentar su aplicación.

Para un corto plazo, podemos partir desde el procedimiento constructivo. El PVC resulta más sencillo en cuanto a número de pasos a realizar, pero un factor de tiempo en la espera del pegamento entre tuberías puede generar demoras. En cambio, el PPR consta de pasos adicionales para su termofusión, pero la espera es menor. Viendo el lado económico, la mano de obra de PPR resulta menor que la de PVC por la habilitación de las tuberías. Esto porque la cantidad de tiempo en termofusión (Teniendo la capacitación necesaria para evitar desperfectos) de las instalaciones comparado con el tiempo en unir las tuberías de PVC es menor. Esta mayor velocidad establece un costo menor para las tuberías de PPR respecto de las de PVC.

Por otro lado, viendo el largo plazo de un proyecto, para su tiempo de vida útil las tuberías de PPR tienen mejor respuesta que las de PVC. Se mostraron los tipos de falla en la Figura 6 para el segundo material. Estos en la práctica han demostrado presentar fallas aproximadamente a los 10 años de su uso constante, en cambio el primero tiene mejores resultados en el tiempo. Lo mencionado anteriormente se vería reflejado también como aspecto económico, ya que el precio para mantenimiento o reparaciones de tuberías puede acumularse, haciendo que a la larga la instalación de PPR haya resultado la opción más conveniente.

Ahora, para las características técnicas que conformaron el desarrollo de la investigación, el valor más importante a comparar para las condiciones del proyecto (Con red de agua fría) es el coeficiente de rugosidad (C). Este varía ligeramente entre ambos materiales,

siendo de 140 para PVC y 150 para PPR. En la ecuación de Hazen Williams implicaría una pérdida de carga en metros de columna de agua por metro lineal de tubería menor el segundo material comparado con el primero; el denominador aumenta y con ello la pérdida disminuye. Fue la única variación para el diseño de las tuberías dentro de la red, ya que el proyecto viene regido por el RNE, el cual indica en su norma IS.010 la aplicación de diseño con diámetros máximos y mínimos en cada tramo. La elección de una bomba y tanque hidroneumático dependía de esta pérdida, por ello se pudo optar por modelos más óptimos para llegar a la presión requerida en el aparato más desfavorable. Explicado esto podríamos decir que la aplicación de la tubería de PPR resultaría igual de conveniente comparado con PVC en cuanto a cálculos de gastos probables (Caudales).

4.2. Recomendaciones

Con fines ambientales, se recomienda utilizar tuberías de PPR en lugar de PVC, debido a que este último material genera un importante impacto ambiental. Esto debido a que, si se combina el cloro con algún solvente orgánico, se producirán compuestos organoclorados, que son perjudiciales para el medio ambiente. Además de esto las ventajas que tiene el PPR como una completa estanqueidad de la conducción, menor emisión de CO₂ y fiabilidad de sus uniones favorecen su aplicación. El uso en otros países cada vez es más frecuente, podríamos fomentar su uso en el Perú a través de este trabajo.

Por otro lado, resultaría conveniente para próximas investigaciones el diseño de alguna edificación considerando gradientes de temperatura. Ya que, como se desarrolló en la investigación, este efecto genera deformaciones que deben ser controladas oportunamente a fin de evitar fallas en las tuberías de PPR.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, E., Villanueva, M. (2019). Dimensionamiento hidráulico usando el sistema termofusión (PP-R) en instalaciones interiores de agua para una edificación multifamiliar en H.U.P. Paseo del Mar – Nuevo Chimbote. (Tesis de pregrado). *Universidad Nacional de Ingeniería*. Lima, Perú.
- Casanova, V. (2005). Análisis comparativo entre polifusión y cobre para instalaciones de agua potable intradomiciliaria. (Tesis de pregrado). *Universidad Austral de Chile*. Chile.
- Concha, S. (2014). Diseño del plan de aseguramiento de la calidad del proceso de termofusión de tuberías de polipropileno. (Tesis de pregrado). *Universidad Nacional del Callao*. Callao, Perú.
- Diez, E., Muñoz, W. (2019). Diseño comparativo técnico – económico entre sistemas de saneamiento con tuberías de PVC y de Polietileno – C.P. Pacanguilla – La Libertad. (Tesis de Pregrado). *Universidad Privada Antenor Orrego*. Trujillo, Perú.
- Duque, J. (2015). Metodología constructiva para instalaciones hidráulicas y sanitarias en viviendas. *Pontificia Universidad Católica del Ecuador*.
- Fabian, C., Sandoval, O. (2013). Análisis comparativo técnico – económico entre el sistema convencional (Tuberías PVC) y el sistema de termofusión (Tuberías de polipropileno) en instalaciones interiores de agua potable para edificaciones en la región de Lima. (Tesis de pregrado). *Universidad Nacional de Ingeniería*. Lima, Perú.
- Forno, J. (2010). Impacto de la utilización de nuevas tecnologías y materiales en los plazos y costos de construcción. (Tesis de pregrado). *Universidad de Chile*. Santiago de Chile, Chile.
- Guanilo-Briones, C. (2017). Estudio de los procesos de electrofusión y termofusión en unión de tuberías de HDPE en una refinería. *Departamento de Ingeniería Mecánico-Eléctrica*. Piura, Perú.
- Greenpeace (2001). Hacia un futuro libre de PVC: Restricciones gubernamentales y empresariales al vinilo. Octava edición.
- Hidrostal (2020). Electrobomba Centrífuga Monoblock – Serie B y C. Catálogo. Disponible 19 de julio de 2020, de

<http://www.hidrostral.com.pe/pdf/catalogos/L1/CATALOGO%20LINEA-1%20ElectrobombaSerieBC.pdf>

- Makino, T. (1998). El PVC y sus problemas ambientales. Asociación de tuberías y accesorios de PVC de Japón, Vol.10, N°1.
- Martínez, A., Romero, M. (2015). Tuberías de PVC orientad: eficiencia, ahorro energético y sostenibilidad. XXXIII Congreso Nacional de Riesgos. Conferencia llevada a cabo por la Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Pavco Wavin (s.f.). Tuberías y conexiones de PVC. Disponible 24 de mayo de 2020, de <https://pavcowavin.com.pe/wp-content/uploads/2020/01/Tuberias-Agua-Fria-PVC-PavcoWavin-Peru.pdf>
- Polifusión (s.f.). Polifusión 3: Propiedades del Polipropileno Copolímero Random. Disponible 24 de mayo de 2020, de <https://polifusion.com/peru/informacion/8-manual-tecnico>
- PVC Forum South East Europe. (2010). Historia y propiedades físicas del PVC. Recuperado de <http://www.seepvcforum.com/en/content/3-history>.
- Rosales, H. (2018). Análisis comparativo del diseño de un sistema de impulsión de agua utilizando tuberías de policloruro de vinilo no plastificado o tuberías de polipropileno copolímero random tipo III para un edificio multifamiliar en la ciudad de Lima – Perú. (Tesis de pregrado). *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. Lima, Perú.
- Shuan, F. (2018). Evaluación técnica y económica del sistema convencional (Tuberías PVC) y el sistema de termofusión (Tuberías de polipropileno) en instalaciones interiores de agua potable para edificaciones en la ciudad de Huaraz. (Tesis de pregrado). *Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”*. Huaraz, Ancash, Perú.
- Villafuerte, K. (2018). Uso de tuberías de policloruro de vinilo en relación a tuberías de polipropileno del agua potable. Tesis de pregrado). *Universidad Peruana Los Andes*. Huancayo, Perú.

6. ANEXOS

Tabla 9: Diseño por tramos de la red de agua fría para el proyecto. Fuente: Propia

Tramo	Longitud (m)	UG	Q (lps)	Ø Mín	Ø Máx	Ø Diseño	Diámetro (Pulg)
A1-b	7.10	240.00	3.65	2	3	2-1/2	2.5
l-c	1.10	7.50	0.985	1	1-1/2	1	1
c-d	2.15	1.50	0.06	1/2	1/2	1/2	0.5
c-e	0.90	6.00	0.94	1	1-1/2	1	1
e-f	2.15	1.50	0.06	1/2	1/2	1/2	0.5
e-g	0.90	4.50	0.205	1/2	3/4	1/2	0.5
g-h	2.15	1.50	0.06	1/2	1/2	1/2	0.5
g-i	0.90	3.00	0.12	1/2	1/2	1/2	0.5
i-j	2.15	1.50	0.06	1/2	1/2	1/2	0.5
i-k	3.03	1.50	0.06	1/2	1/2	1/2	0.5
b-l	2.81	72.50	2.26	1-1/2	3	2	2
l-m	2.20	65.00	2.17	1-1/4	3	2	2
m-n	0.97	25.00	1.435	1-1/4	2	1-1/2	1.5
n-o	2.00	5.00	0.91	1	1-1/2	1-1/2	1.5
n-p	0.90	20.00	1.33	1-1/4	2	1-1/2	1.5
p-q	2.00	5.00	0.91	1	1-1/2	1-1/2	1.5
p-r	0.90	15.00	1.195	1	1-1/2	1-1/2	1.5
r-s	2.00	5.00	0.91	1	1-1/2	1-1/2	1.5
r-ñ	0.90	10.00	1.06	1	1-1/2	1-1/2	1.5
ñ-t	2.00	5.00	0.91	1	1-1/2	1-1/2	1.5
ñ-u	2.90	5.00	0.91	1	1-1/2	1-1/2	1.5
m-w	2.40	40.00	1.74	1-1/4	2	1-1/2	1.5
w-x	1.70	8.00	1	1	1-1/2	1-1/2	1.5
w-y	1.15	32.00	1.59	1-1/4	2	1-1/2	1.5
y-z	1.70	8.00	1	1	1-1/2	1-1/2	1.5
y-aa	0.90	24.00	1.42	1-1/4	2	1-1/2	1.5
aa-ab	1.70	8.00	1	1	1-1/2	1-1/2	1.5
aa-ac	0.90	16.00	1.22	1	1-1/2	1-1/2	1.5
ac-ad	1.70	8.00	1	1	1-1/2	1-1/2	1.5
ac-ae	2.60	8.00	1	1	1-1/2	1-1/2	1.5
b-af	6.61	167.50	3.1	2	3	2-1/2	2.5
ap-ag	1.00	40.00	1.74	1-1/4	2	1-1/2	1.5
ag-ah	1.80	8.00	1	1	1-1/2	1-1/2	1.5
ag.ai	1.15	32.00	1.59	1-1/4	2	1-1/2	1.5
ai-aj	1.80	8.00	1	1	1-1/2	1-1/2	1.5
ai-ak	0.90	24.00	1.42	1-1/4	2	1-1/2	1.5
ak-al	1.80	8.00	1	1	1-1/2	1-1/2	1.5
ak-am	0.90	16.00	1.22	1	1-1/2	1-1/2	1.5
am-an	1.80	8.00	1	1	1-1/2	1-1/2	1.5
am-ao	2.70	8.00	1	1	1-1/2	1-1/2	1.5
af-ap	2.80	47.50	1.9	1-1/4	2	2	2
ap-aq	2.59	7.50	0.985	1	1-1/2	1	1

aq-ar	2.49	1.50	0.06	1/2	1/2	1/2	0.5
aq-as	0.90	6.00	0.94	1	1-1/2	1	1
as-at	2.48	1.50	0.06	1/2	1/2	1/2	0.5
as-au	0.90	4.50	0.205	1/2	3/4	1/2	0.5
au-aw	2.48	1.50	0.06	1/2	1/2	1/2	0.5
au-ax	0.90	3.00	0.12	1/2	1/2	1/2	0.5
ax-ay	2.48	1.50	0.06	1/2	1/2	1/2	0.5
ax-az	2.38	1.50	0.06	1/2	1/2	1/2	0.5
af-bk	9.81	120.00	2.72	2	3	2-1/2	2.5
ba-bb	1.90	7.50	0.985	1	1-1/2	1	1
bb-bc	3.30	1.50	0.06	1/2	1/2	1/2	0.5
bb-bd	0.90	6.00	0.94	1	1-1/2	1	1
bd-be	3.30	1.50	0.06	1/2	1/2	1/2	0.5
bd-bf	0.90	4.50	0.205	1/2	3/4	1/2	0.5
bf-bg	3.30	1.50	0.06	1/2	1/2	1/2	0.5
bf-bh	0.90	3.00	0.12	1/2	1/2	1/2	0.5
bh-bi	3.30	1.50	0.06	1/2	1/2	1/2	0.5
bh-bj	0.90	1.50	0.06	1/2	1/2	1/2	0.5
bk-ba	2.72	47.50	1.9	1-1/4	2	2	2
ba-bl	0.65	40.00	1.74	1-1/4	2	1-1/2	1.5
bl-bm	1.33	8.00	1	1	1-1/2	1-1/2	1.5
bl-bn	1.15	32.00	1.59	1-1/4	2	1-1/2	1.5
bn-bo	1.33	8.00	1	1	1-1/2	1-1/2	1.5
bn-bp	0.90	24.00	1.42	1-1/4	2	1-1/2	1.5
bp-bq	1.33	8.00	1	1	1-1/2	1-1/2	1.5
bp-br	0.90	16.00	1.22	1	1-1/2	1-1/2	1.5
br-bs	1.33	8.00	1	1	1-1/2	1-1/2	1.5
br-bt	2.23	8.00	1	1	1-1/2	1-1/2	1.5
bk-bu	8.97	72.50	2.26	1-1/2	3	2-1/2	2.5
bu-bw	2.20	65.00	2.17	1-1/4	3	2	2
bw-bx	1.93	40.00	1.74	1-1/4	2-1/2	1-1/2	1.5
bx-by	1.68	8.00	1	1	1-1/2	1-1/2	1.5
bx-bz	1.15	32.00	1.59	1-1/4	2	1-1/2	1.5
bz-ca	1.68	8.00	1	1	1-1/2	1-1/2	1.5
bz-cb	0.90	24.00	1.42	1-1/4	2	1-1/2	1.5
cb-cc	1.68	8.00	1	1	1-1/2	1-1/2	1.5
cb-cd	0.90	16.00	1.22	1	1-1/2	1-1/2	1.5
cd-ce	1.68	8.00	1	1	1-1/2	1-1/2	1.5
cd-X	2.58	8.00	1	1	1-1/2	1-1/2	1.5
bw-cg	0.54	25.00	1.435	1-1/4	2	1-1/2	1.5
cg-ch	2.00	5.00	0.91	1	1-1/2	1-1/2	1.5
cg-ci	0.80	20.00	1.33	1-1/4	2	1-1/2	1.5
ci-cj	2.00	5.00	0.91	1	1-1/2	1-1/2	1.5
ci-ck	0.95	15.00	1.195	1	1-1/2	1-1/2	1.5
ck-cl	2.00	5.00	0.91	1	1-1/2	1-1/2	1.5
ck-cm	0.90	10.00	1.06	1	1-1/2	1-1/2	1.5

cm-cn	2.00	5.00	0.91	1	1-1/2	1-1/2	1.5
cm-co	2.85	5.00	0.91	1	1-1/2	1-1/2	1.5
bu-cp	0.67	7.50	0.985	1	1-1/2	1	1
cp-cq	2.15	1.50	0.06	1/2	1/2	1/2	0.5
cp-cr	0.90	6.00	0.94	1	1-1/2	1	1
cr-cs	2.15	1.50	0.06	1/2	1/2	1/2	0.5
cr-ct	0.90	4.50	0.205	1/2	3/4	1/2	0.5
ct-cu	2.15	1.50	0.06	1/2	1/2	1/2	0.5
ct-cw	0.90	3.00	0.12	1/2	1/2	1/2	0.5
cw-cx	2.15	1.50	0.06	1/2	1/2	1/2	0.5
cw-cf	3.04	1.50	0.06	1/2	1/2	1/2	0.5

